Література

1. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука, 1971. – 1108 с.
2. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Марычев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: Наука, 1981. – 797 с.
3. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Марычев О.И. Интегралы и ряды. Специальные функции. – М.: Наука, 1983. – 798 с.
4. Ленюк М.П., Шинкарик Н.И. Гибридные интегральные преобразования Лежандра. –Львов, 1989. – 60 с. – (Препринт/АН УССР. Ин-т прикл. проблем механики и мамематики; 89.0).
5. Ленюк М.П. Исследование основных краевых задач для диссипативного волнового уравнения Бесселя. – Киев, 1983. – 61 с. – (Препр./АН УССР. Ин-т математики, 83.3).
6. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. – М.: Физ-матгиз, 1959. – 468 с.
7. Шилов Г.Е. Математический анализ. Второй специальный курс. – М.: Наука, 1965. – 328 с.
8. Ленюк М.П., Шинкарик М.І. Гібридні інтегральні перетворення (Фур'є, Бесселя, Лежандра). Частина І. –Тернопіль; Економічна думка, 2004. – 368 с.
9. Ленюк М.П., Міхалевська Г.І. Інтегральні перетворення типу Конторовича-Лєбєдєва. – Чернівці: Прут, 2002.– 280 с.
10. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. – М.: Физматгиз, 1963. – 431 с.
11. Комаров Г.М., Ленюк М.П., Мороз В.В. Скінченні гібридні інтегральні перетворення, породжені диференціальними рівняннями другого порядку. – Чернівці: Прут, 2001. – 228 с.

Одержано 01.08.2006 р.

УДК 628.113.2 : 66.067.1

А. Бомба[1], докт. техн. наук; І. Присяжнюк[1], канд. техн. наук; А. Сафоник[2]

[1]*Рівненський державний гуманітарний університет,*
[2]*Національний університет водного господарства та природокористування*

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ДИФУЗІЇ

Уточнено відому модель фільтрування Мінца шляхом її „дифузійного збурення". На цій основі проведено дослідження процесу очистки стічних вод при фільтруванні на каркасно-засипних фільтрах, зокрема, отримані формули для розрахунку процесу накопичення забруднень у фільтрі в залежності від різних його технічних характеристик. Наведено результати числових розрахунків.

A. Bomba, I. Prysjazhnjuk, A. Safonik

FEATURES OF FILTERING WITH AN ACCOUNT OF DIFFUSION

The known Mints filtration model has been developed by its „diffuse existement". On this basis, the research of water purification process of filtration through wire-frame filling filters has been carried out, namely, the formulas for filter pollutants accumulation process calculation depending on its various technical characteristics have been obtained. The results of numerical calculations are represented.

Моделюванням процесу очистки стічних вод при фільтруванні на каркасно-засипних фільтрах займались такі відомі вчені, як Мінц Д.М., Шехтман Ю.М., Веригін М.М. [1-2]. Зокрема, відомою є модель Мінца Д.М.: $\frac{\partial\rho(x,t)}{\partial t}+v\frac{\partial c(x,t)}{\partial x}=0$, $\frac{\partial\rho(x,t)}{\partial t}=\beta c(x,t)-\alpha\rho(x,t)$, де перше рівняння - закон збереження маси (рівняння балансу), друге – рівняння кінетики. Проте деякі важливі компоненти процесу очистки забруднених вод у цих моделях залишились неврахованими. Зокрема, знехтувано явищем поздовжньої дифузії. Щодо доцільності урахування цього явища в літературних джерелах присутні певною мірою суперечливі точки зору. Так в адсорбційній лабораторії МХТІ встановлено, що на асимптотичній стадії в широкому діапазоні швидкостей потоку ефект розмивання поздовжньої дифузії дуже малий у порівнянні з ефектом розмивання масообмінних процесів. З іншого боку, в [3] показано, що при сорбції деяких речовин поздовжня дифузія вносить певні зміни в динаміку процесу.

У даній роботі на основі відомої моделі Мінца побудовано і досліджено нову математичну нелінійну модель процесу очищення стічних вод на каркасно-засипних фільтрах, яка враховує малу поздовжню дифузію, та отримано асимптотичний розв'язок відповідної задачі.

1. Постановка задачі для нескінченного фільтра. Вихідна система рівнянь фільтрування з відповідними додатковими умовами має вигляд:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\rho(x,t)}{\partial t}+v\dfrac{\partial c(x,t)}{\partial x}=D\dfrac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \\ \dfrac{\partial\rho(x,t)}{\partial t}=\beta c(x,t)-\alpha\rho(x,t)+D_*\dfrac{\partial^2\rho}{\partial x^2}, \end{cases} \tag{1}$$

$$c\big|_{x=0}=c_{bx}(t),\ c\big|_{t=0}=c_{bx}(0)e^{-\frac{\beta x}{v}},\ \ \rho\big|_{t=0}=\rho_{bx}(x),\ \rho\big|_{x=0}=e^{-\alpha t}\left[\rho_{bx}(0)+\beta\int_0^t c_{bx}(\tau)e^{\alpha\tau}d\tau\right], \tag{2}$$

де $0<x<\infty$, $0<t<\infty$, $c(x,t)$– концентрація домішок у рідині, що фільтрується, $\rho(x,t)$– концентрація осаду в завантаженні, $c_{bx}(t)$ – концентрація завислих домішкових частинок на вході фільтра; $\rho_{bx}(x)$ – початковий розподіл осаду у завантаженні; β - коефіцієнт, що характеризує обсяги захоплених за одиницю часу домішкових частинок; α – коефіцієнт, що характеризує обсяги відірваних за той же час частинок осаду; v- швидкість фільтрування; D, D_* – коефіцієнт дифузії, де $D=b\varepsilon, D_*=b_*\varepsilon, 0<b\le 1, 0<b_*\le 1$; ε - малий параметр.

Перше рівняння (рівняння балансу) описує закон збереження маси і враховує явище поздовжньої дифузії. Друге – це рівняння кінетики, яке відображає той факт, що швидкість росту щільності насичення завантаження осадом - $\dfrac{\partial\rho}{\partial t}$ дорівнює різниці мас βc, захоплених за одиницю часу, домішкових частинок і $\alpha\rho$, відірваних за той же час частинок осаду, а також дифузію осаду у завантаженні.

2. Асимптотика розв'язку. Розв'язки системи (1) за умов (2) шукаємо у вигляді асимптотичних рядів (див. [4]):

$$c(x,t)=c_0(x,t)+\sum_{i=1}^{n}\varepsilon^i c_i(x,t)+R_1(x,t,\varepsilon),$$

$$\rho(x,t)=\rho_0(x,t)+\sum_{i=1}^{n}\varepsilon^i\rho_i(x,t)+R_2(x,t,\varepsilon), \tag{3}$$

де R_1, R_2– залишкові члени, $c_i(x,t)$, $\rho_i(x,t)$ $(i=\overline{0,n})$ – члени регулярних частин асимптотик, зокрема, c_0, ρ_0– розв'язки відповідної виродженої задачі, а $c_1, ..., c_n, \rho_1, ..., \rho_n$ – поправки, що враховують "вклад" дифузії вздовж фільтра.

Аналогічно до [5], після підстановки (3) в (1) та застосування стандартної "процедури прирівнювання", для знаходження функцій c_i і ρ_i $(i=\overline{0,n})$ приходимо до таких задач:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\rho_0}{\partial t}+v\dfrac{\partial c_0}{\partial x}=0, \quad \dfrac{\partial\rho_0}{\partial t}=\beta c_0-\alpha\rho_0, \\ c_0\big|_{x=0}=c_{bx}(t), \quad c_0\big|_{t=0}=c_{bx}(0)e^{-\frac{\beta x}{v}}, \\ \rho_0\big|_{t=0}=\rho_{bx}(x), \quad \rho_0\big|_{x=0}=e^{-\alpha t}\left[\rho_{bx}(0)+\beta\int\limits_0^t c_{bx}(\tau)e^{\alpha\tau}d\tau\right], \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\rho_i}{\partial t}+v\dfrac{\partial c_i}{\partial x}=\Psi_i, \ \dfrac{\partial\rho_i}{\partial t}=\beta c_i-\alpha\rho_i+\Phi_i, \\ c_i\big|_{x=0}=0, c_i\big|_{t=0}=0, \rho_i\big|_{x=0}=0, \rho_i\big|_{t=0}=0, \end{cases} \tag{5}$$

де $\Psi_i(x,t)=\dfrac{\partial^2 c_{i-1}(x,y)}{\partial x^2}$, $\Phi_i(x,t)=\dfrac{\partial^2\rho_{i-1}(x,y)}{\partial x^2}$ $i=1,2...$

Знаходження розв’язку задачі (4) зводиться до розв’язування рівнянь [6]:

$$\begin{gathered} \frac{\partial^2 c_0}{\partial x\partial t}+\frac{\beta}{v}\frac{\partial c_0}{\partial t}+\alpha\frac{\partial c_0}{\partial x}=0, \\ \frac{\partial^2\rho_0}{\partial x\partial t}+\alpha\frac{\partial\rho_0}{\partial x}+\frac{\beta}{v}\frac{\partial\rho_0}{\partial t}=0 \end{gathered} \tag{6}$$

за додаткових умов (2).

З (6), (2) методом Рімана [7] знаходимо:

$$c_0(x,t)=e^{-\frac{\beta x}{v}-\alpha t}\left(c_{bx}(0)I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta}{v}xt}\right)+\frac{\alpha}{v}\int\limits_0^x I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta}{v}(x-\xi)\tau}\right)\rho_{bx}(\xi)e^{\frac{\beta\xi}{v}}d\xi+\right.$$
$$\left.+\int\limits_0^t e^{\alpha\eta}I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta}{v}x(t-\eta)}\right)\left[\frac{dc_{bx}(\eta)}{d\eta}+\alpha c_{bx}(\eta)\right]d\eta\right),$$

$$\rho_0(x,t)=e^{-\frac{\beta x}{v}-\alpha t}\left(\rho_{bx}(0)I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta}{v}xt}\right)+\frac{\beta}{v}\int\limits_0^t e^{\alpha\eta}I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta x}{v}(t-\eta)}\right)c_{bx}(\eta)d\eta+\right.$$
$$\left.+\int\limits_0^x e^{\frac{\beta\xi}{v}}I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta t}{v}(x-\xi)}\right)\left[\frac{d\rho_{bx}(\xi)}{d\xi}+\frac{\beta}{v}\rho_{bx}(\xi)\right]d\xi\right..$$

З системи (5), аналогічно до [8], отримаємо задачі для знаходження $c_i(x,t),\ \rho_i(x,t),\ i=1,2,...$:

$$\begin{gathered} \frac{\partial^2 c_i}{\partial x\partial t}+\frac{\beta}{v}\frac{\partial c_i}{\partial t}+\alpha\frac{\partial c_i}{\partial x}-\frac{1}{v}\left(\frac{\partial\Psi_i}{\partial t}+\alpha\Psi_i-\frac{\partial\Phi_i}{\partial t}\right)=0, \\ \frac{\partial^2\rho_i}{\partial x\partial t}+\frac{\beta}{v}\frac{\partial\rho_i}{\partial t}+\alpha\frac{\partial\rho_i}{\partial x}-\left(\frac{\partial\Phi_i}{\partial x}+\frac{\beta}{v}\Psi_i\right)=0, \\ c_i\big|_{x=0}=0, c_i\big|_{t=0}=0, \rho_i\big|_{t=0}=0, \rho_i\big|_{x=0}=0. \end{gathered} \tag{7}$$

Розв’язавши (7) методом Рімана, одержимо рекурентні формули для визначення $c_i(x,t)$ і $\rho_i(x,t)$:

$$c_i(x,t)=\frac{e^{-\frac{\beta x}{v}-\alpha t}}{vb}\int\limits_0^x\int\limits_0^t e^{\frac{\beta\xi}{v}+\alpha\eta}\mathrm{I}_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta}{v}(x-\xi)(t-\eta)}\right)\times$$
$$\times\left(\frac{\partial^3 c_{i-1}(\xi,\eta)}{\partial\xi^2\partial\eta}+\alpha\frac{\partial^2 c_{i-1}(\xi,\eta)}{\partial\xi^2}-\frac{\partial^3\rho_{i-1}(\xi,\eta)}{\partial\xi^2\partial\eta}\right)d\eta\, d\xi,$$

$$\rho_i(x,t)=e^{-\frac{\beta x}{\nu}-\alpha t}\int\limits_0^x\int\limits_0^t e^{\frac{\beta\xi}{\nu}+\alpha\eta} I_0\left(2\sqrt{\frac{\alpha\beta}{\nu}(x-\xi)(t-\eta)}\right)\left(\frac{\partial^3\rho_{i-1}(\xi,\eta)}{\partial\xi^3}+\frac{\beta}{\nu}\frac{\partial^2 c_{i-1}(\xi,\eta)}{\partial\xi^2}\right)d\eta d\xi.$$

3. Модель реального фільтра. У випадку скінченного фільтра довжини L ($0<x\le L$) задамо додаткову умову швидкого відведення забруднень (умову Веригіна) $\left.\frac{\partial c}{\partial x}\right|_{x=L}=0,\ \left.\frac{\partial\rho}{\partial x}\right|_{x=L}=0$. Розв'язок $c(x,t)$ і $\rho(x,t)$ задачі (1-2) з точністю $O\left(\varepsilon^{n+1}\right)$ шукаємо у вигляді асимптотичних рядів:

$$c(x,t)=c_0(x,t)+\sum_{i=1}^{n}\varepsilon^i c_i(x,t)+\sum_{i=0}^{n+1}\varepsilon^i \Pi_i(\xi,t)+R_1(x,t,\varepsilon), \quad (8)$$

$$\rho(x,t)=\rho_0(x,t)+\sum_{i=1}^{n}\varepsilon^i \rho_i(x,t)+\sum_{i=0}^{n+1}\varepsilon^{i/2} P_i(\mu,t)+R_2(x,t,\varepsilon), \quad (9)$$

де R_1, R_2 – залишкові члени, $c_i(x,t)$, $\rho_i(x,t)$ ($i=\overline{0,n}$) – члени регулярних частин асимптотик, зокрема: c_0, ρ_0 – розв'язки відповідної виродженої задачі, c_i, ρ_i – поправки, що враховують "вклад" дифузії вздовж фільтра (за винятком деякої його приграничної зони), $\Pi_i(\xi,t)$, $P_i(\mu,t)$ ($i=\overline{0,n+1}$) – функції типу пограншару, що враховують вплив бічних джерел забруднень в околі $x=L$ (поправки на виході фільтраційного потоку із фільтра), $\xi=(L-x)\cdot\varepsilon^{-1}$, $\mu=(L-x)\cdot\varepsilon^{-1/2}$ – відповідні регуляризуючі перетворення.

Функції $\Pi=\sum_{i=0}^{n+1}\Pi_i\,\varepsilon^i$, $P=\sum_{i=0}^{n+1}P_i\,\varepsilon^{i/2}$ призначені для усунення неузгодженостей, внесених побудованими регулярними частинами $c(x,t)=\sum_{i=0}^{n}c_i\,\varepsilon^i$, $\rho(x,t)=\sum_{i=0}^{n}\rho_i\,\varepsilon^i$ в околі точки $x=L$, тобто забезпечують виконання умов: $\left.(c+\Pi)\right|_{x=L}=c(L,t)+O\left(\varepsilon^{n+1}\right)$, $\left.(\rho+P)\right|_{x=L}=\rho(L,t)+O\left(\varepsilon^{n+1}\right)$. Для знаходження цих функцій маємо задачі:

$$b\Pi_{i\xi\xi}+\nu\Pi_{i\xi}=I(i)P_{i-1t}+I(i)\varepsilon^{i/2}P_{it}+I(i+1)P_{it},\Pi_i\underset{\xi\to\infty}{\to}0,\ \Pi_{i\xi}(L,t)=K_i(t);$$

$$b_*P_{i\mu\mu}-\alpha P_i-P_{it}=-\beta M(i)\Pi_{i-1},P_i\underset{\mu\to\infty}{\to}0,\ P_{i\mu}(L,t)=H_i(t);$$

$$I(a)=\begin{cases}0,\ \textit{якщо } a-\textit{парне},\\ 1,\ \textit{якщо } a-\textit{непарне},\end{cases}\qquad M(a)=\begin{cases}1,\ \textit{якщо } a-\textit{парне},\\ 0,\ \textit{якщо } a-\textit{непарне},\end{cases}$$

$$K_i(t)=\begin{cases}0,\ \textit{якщо } i=n+1,\\ -c_{i\xi}(L,t),\ \textit{якщо } i=0,\dots,n,\end{cases}\qquad H_i(t)=\begin{cases}0,\ \textit{якщо } i=n+1,\\ -\rho_{i\mu}(L,t),\ \textit{якщо } i=0,\dots,n.\end{cases}$$

Розв'язки останніх задач отримуються, зокрема, з використанням числових методів.

Для знаходження залишкових членів маємо задачу:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial R_2(x,t,\varepsilon)}{\partial t} + v\dfrac{\partial R_1(x,t,\varepsilon)}{\partial x} - b\varepsilon\dfrac{\partial^2 R_1(x,t,\varepsilon)}{\partial x^2} = \varepsilon^{n+1} b\dfrac{\partial^2 c_n}{\partial x^2}, \\ \dfrac{\partial R_2(x,t,\varepsilon)}{\partial t} - \beta R_1(x,t,\varepsilon) + \alpha R_2(x,t,\varepsilon) - b_*\varepsilon\dfrac{\partial^2 R_2(x,t,\varepsilon)}{\partial x^2} = \varepsilon^{n+1}\left(\beta\Pi_{n+1} + b_*\dfrac{\partial^2 \rho_n}{\partial x^2}\right), \end{cases}$$

$$R_1(0,t,\varepsilon) = R_1(L,t,\varepsilon) = R_1(x,0,\varepsilon) = R_2(0,t,\varepsilon) = R_2(L,t,\varepsilon) = R_2(x,0,\varepsilon) = O\left(\varepsilon^{n+1}\right).$$

Вимагаючи достатньої гладкості початкової і граничних умов та коефіцієнтів системи рівнянь (1) (існування неперервних частинних похідних до четвертого порядку включно), а також їх узгодженості у точці $x = L$, на основі принципу максимуму приходимо до справедливості такого твердження: $R_i\,(x,t,\varepsilon) = O\left(\varepsilon^{n+1}\right)$ $(i = 1,2)$.

Результати числових розрахунків. Наведемо результати розрахунків за формулами (3), при $\rho_{bx}(x) \equiv 0$, $c_{bx}(t) = e^{-t}$, $\beta = \dfrac{1}{36}c^{-1}$, $a = \dfrac{1}{18000}c^{-1}$, $v = \dfrac{1}{36}мс^{-1}$. На рисунку 1, 2 зображено розподіли концентрацій $c(x,t_0)$ і $\rho(x,t_0)$ в різні моменти часу при $t_0 = 0{,}1$, $t_0 = 0{,}3$, $t_0 = 0{,}6$, $t_0 = 0{,}9$ (криві 1-4 відповідно).

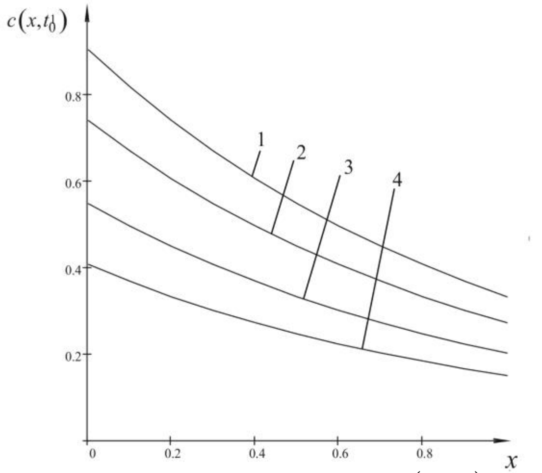

Рисунок 1 – Розподіл $c(x,t_0)$ в різні моменти часу.

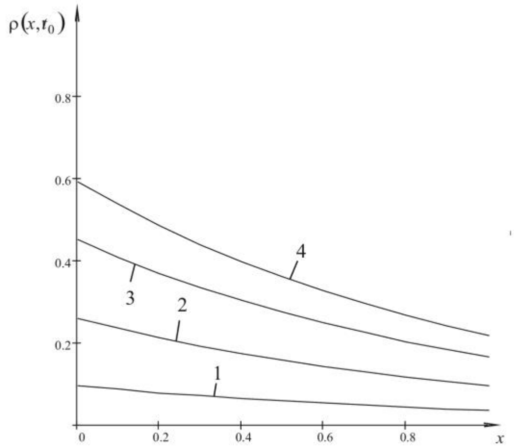

Рисунок 2 – Розподіл $\rho(x,t_0)$ в різні моменти часу.

На рисунку 3, 4 зображено розподіл концентрацій $c(x,t_0)$ і $\rho(x,t_0)$ для різних значень коефіцієнта дифузії: $D = 0.0001\,(D_* = 0.0001)$ - криві 1.а, 1.б, 1.в; $D = 0.001\,(D_* = 0.001)$ - криві 2.а, 2.б, 2.в; $D = 0.01$ $(D_* = 0.01)$ - криві 3.а, 3.б, 3.в.

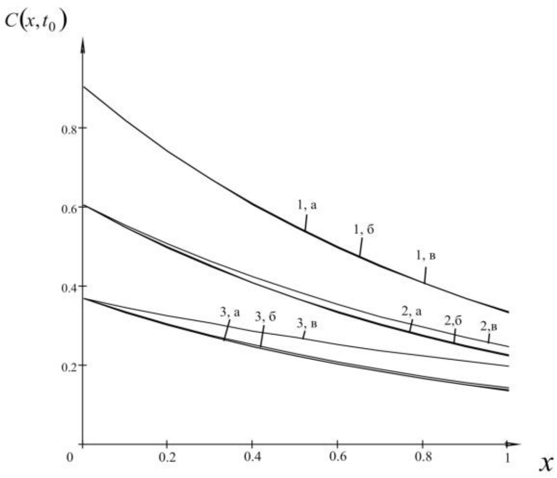

Рисунок 3 – Розподіл $c(x,t_0)$ для різних D.

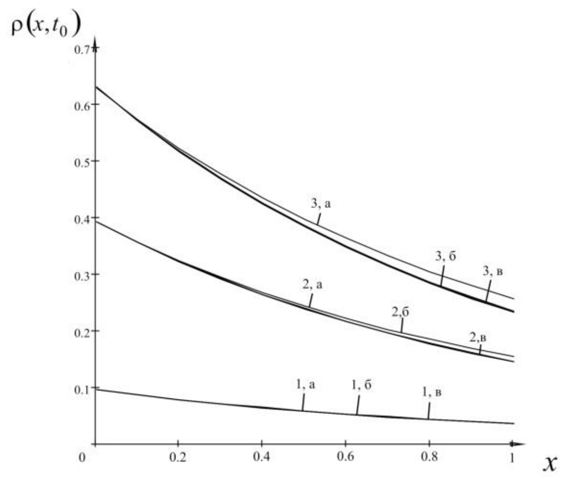

Рисунок 4 – Розподіл $\rho(x,t_0)$ для різних D_*.

При дослідженні впливу характеристик фільтруючого матеріалу (коефіцієнт β) отримано такі розподіли концентрацій: $\beta \approx 0.028$ - рис. 5.*a*, $\beta \approx 0.017$ - рис. 5.*b*, $\beta \approx 0.011$ - рис. 5.*c*, $\beta \approx 0.009$ - рис. 5.*d*, $\beta \approx 0.008$ - рис. 5.*e*, $\beta \approx 0.0073$ - рис. 5.*f*.

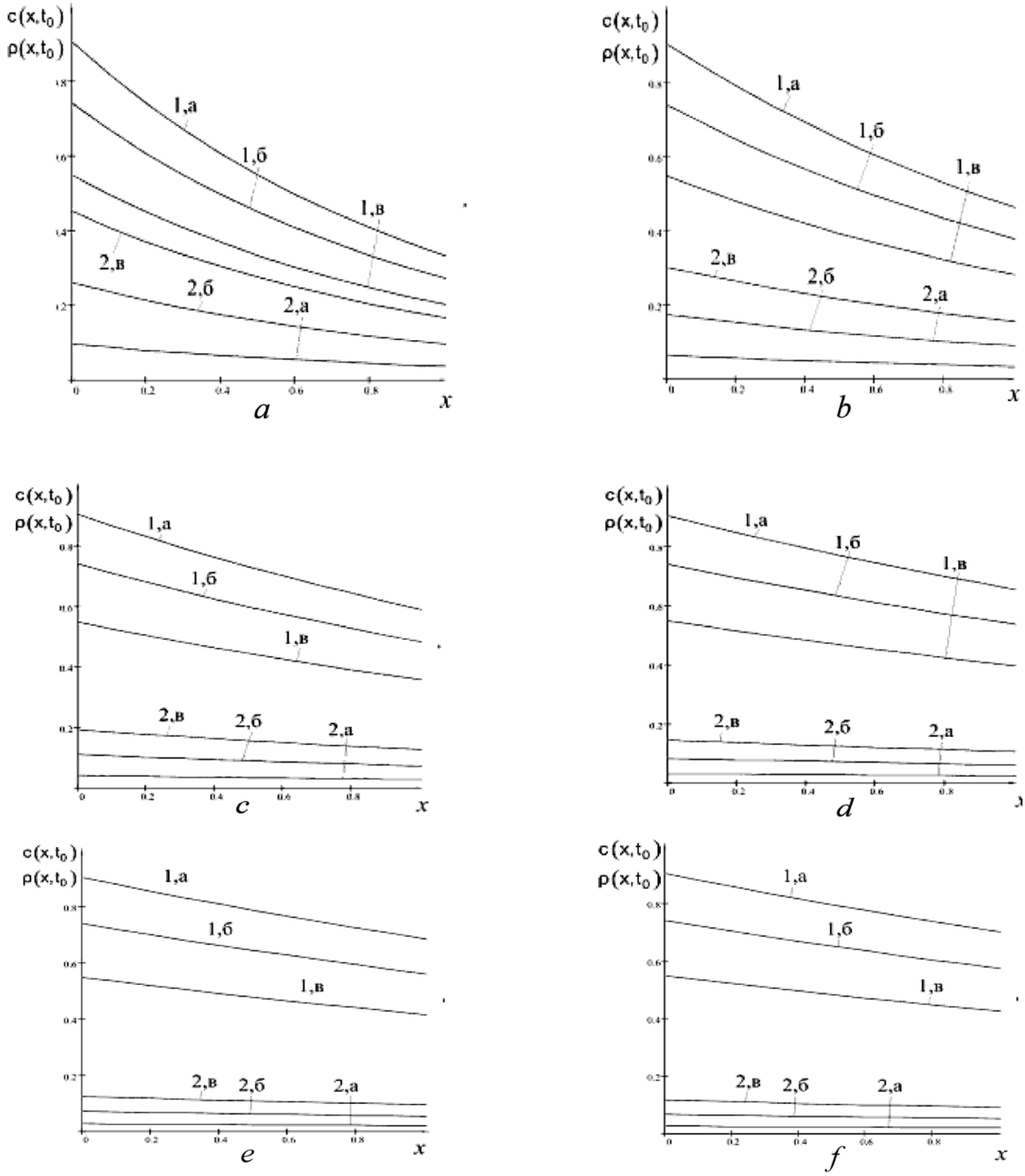

Рисунок 5 – Залежність $c(x,t_0)$ і $\rho(x,t_0)$ для різних *β*.

Як **висновок** відзначимо, що запропонована в роботі методика уточнення відомої моделі Мінца шляхом переходу до відповідної “збуреної” задачі (1), (2) дозволяє зберегти класичні форми законів, які описують процеси руху рідини в пористих середовищах, а при побудові її розв’язку, не починаючи “спочатку”, доповнювати відомі “незбурені” розв’язки різними поправками. В результаті комп’ютерного експерименту підтверджено факт зменшення часу ефективної роботи фільтра із збільшенням діаметра зерен завантаження. Відзначимо також, що встановлена нами залежність часу ефективної роботи фільтра від його відносної довжини є досить важливою, зокрема, з точки зору оцінки економічної ефективності його виробництва та експлуатації.

Якщо початкова та граничні умови недостатньо узгоджені або недостатньо гладкі, то необхідно здійснити спочатку процедуру згладження негладкостей розв'язків вироджених задач вздовж відповідних характеристик, наприклад, аналогічно до [9]. У **перспективі** – поширення запропонованої методики на відповідні нелінійні задачі, задачі із запізненням, а також аналогічні двовимірні і тривимірні задачі.

Література

1. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.
2. Жуховицкий А. А., Забежинский Я. Л., Тихонов А. Н. Поглощение газа из тока воздуха слоем зернистого материала // Журн. физ. химии. – 1945. – Т. 19, вып. 6. – С. 253 – 261.
3. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 166 с.
4. Бомба А.Я. Про асимптотичний метод розв'язання однієї задачі масопереносу при фільтрації в пористому середовищі // Укр. мат. журн.– 1982.– Т.4, №4.– С. 493–496.
5. Лаврик В.И., Бомба А.Я., Власюк А.П. Об асимптотическом приближении решений некоторых массопереноса при фильтрации в неоднородной среде Препринт 85.72. – Киев: Ин-т математики АН УССР, 1985. – 16с.
6. Демчик І.І. Лінійна модель фільтрування (модель Мінца) та її узагальнення // Вісник УДУВГП (збірник наукових праць). – 2004. – Вип. 1(25). – С. 107-118.
7. Кочмарский В.З., Демчик И.И. Интегрирование системы уравнений фильтрования методом Римана. В сб.: Дифференциальные уравнения и их приложения. – Днепропетровск: Днепропетр. гос. ун-т., 1986. – С. 50-53.
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977.
9. Бомба А.Я. Асимптотический метод решения одной пространственной задачи массопереноса. В кн.: Некоторые модели движения сплошной среды и их приложения. – М.: Наука, 1988. – С. 115-120.

Одержано 15.02.2007 р.

УДК 517.9

Л. Романюк[1], канд. техн. наук; О. Скрук[2], канд. фіз.-мат. наук; В. Чорний[2], канд. фіз.-мат. наук

[1]*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*
[2]*Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка*

ПРО ОДИН ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВ'ЯЗКІВ РІЗНИЦЕВИХ РІВНЯНЬ З НЕЛІНІЙНИМИ КРАЙОВИМИ УМОВАМИ

Робота присвячена дослідженню розв'язків крайових задач в нелінійних різницевих рівняннях з нелінійними крайовими умовами. Обґрунтовується підхід, який базується на побудові крайової задачі з лінійними крайовими умовами, що розглядається з певною системою визначальних рівнянь.

L. Romanyuk, O. Skruk, V. Chorniy

ABOUT ONE APPROACH INVESTIGATION OF SOLUTION OF DIFFERENCE EQUATIONS WITH NON-LINEAR BOUNDARY CONDITIONS

The article is dedicated to the investigation of solutions of the boundary value problems in non-linear difference equations and non-linear boundary conditions. We substantiate the approach which is based on the construction of the equivalent boundary value problem with linear boundary conditions. This approach is examined together with a certain system of determining equations.